



BXC系列模块化显微镜组件：对焦传感装置

引言

为了支持设备和仪器设计人员，我们向基于显微镜的成像系统制造商提供各种物镜和其他光学部件。这些组件有助于他们的工程师高效地设计出高质量的光学检测设备。

半导体检测是一种需要显微镜成像系统的应用。半导体制造商要求在整个制造过程中进行快速、准确和干净的检测。他们依赖光学检测设备制造商创新检测工具，以满足行业的需求。半导体制造商通常会将半导体检测所需的光学机械组件采购给光学成像专家。在这种应用中，光学系统的自动对焦组件不可或缺，而且对整体检测速度有很大的影响。自动对焦组件与光学系统的电动Z轴机械装置、照明器、显微镜物镜和数码相机或传感器相结合，构成了完整的系统。

在此白皮书中，我们介绍了如何将自动调焦系统（BXC-FSU）与显微镜的电动Z轴机械装置、照明器、光源、物镜和其他组件相结合，帮助半导体制造商快速高效地完成检测。

什么是自动对焦？

自动对焦系统有两种类型：

- 被动系统使用观察到的图像进行对焦。这种技术通常被称为图像对比法，但它不适用于裸晶圆等低对比度样品。使用这种方法很难确定对焦方向，因此必须在Z轴方向上，上下移动载物台，以探测到样品对比度的增减。这样会减慢对焦速度，并使检测人员难以掌握对焦情况。然而，这种方法的优点是成本相对较低。
- 主动系统将来自专用光源的光照射到样品上，并基于返回的光进行对焦。这种技术适用于样品缺乏对比度的高级检测系统，如平板和裸晶圆检测系统（图1）。



图1. 裸晶圆检测。

主动式瞳分割法

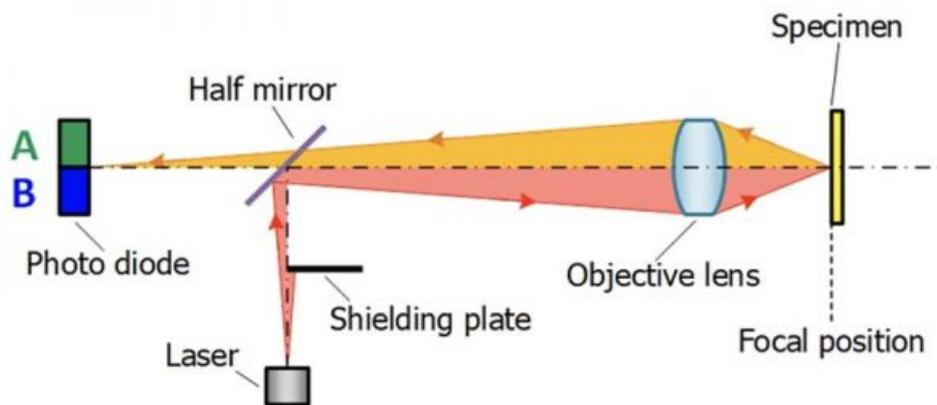
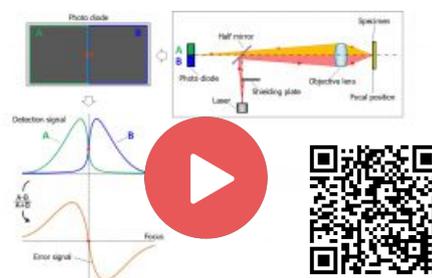


图2. 主动式瞳分割法概要。

瞳分割法是一种主动的对焦传感方法（图2）。在这种方法中，要在光源和透镜之间放置一块屏蔽板（图2）。从激光源发出的光在一侧被屏蔽板阻挡。激光通过物镜照射到样品后，从样品上反射回来，然后通过半反射镜进入两段式光电二极管。进入每一侧的光强度（图2 A和B）会根据样品位于焦点的远或近而发生变化。自动对焦装置感测流经A和B的光通量，并使用公式 $(A-B) / (A+B)$ 将其转换为“误差信号”。对焦位置是光电二极管两侧的入射光强度相等的Z位置。换句话说，当误差信号约等于零时，自动对焦装置就会判断对焦已完成。

图3说明了入射到两段式光电二极管A侧和B侧的信号以及误差信号值如何根据样品位置而变化。



Video: Figure3_AF_20230216.mp4

图3. 采用主动式瞳分割法进行对焦感应

对焦误差信号输出

自动对焦装置控制盒接收信号，并将其传输到驱动电动Z轴运动的软件。为了向客户设备输出对焦信息，要将BXC-FSU与BXC-CBB控制器结合起来（图4）。

[了解BXC-CBB系统如何工作](#)

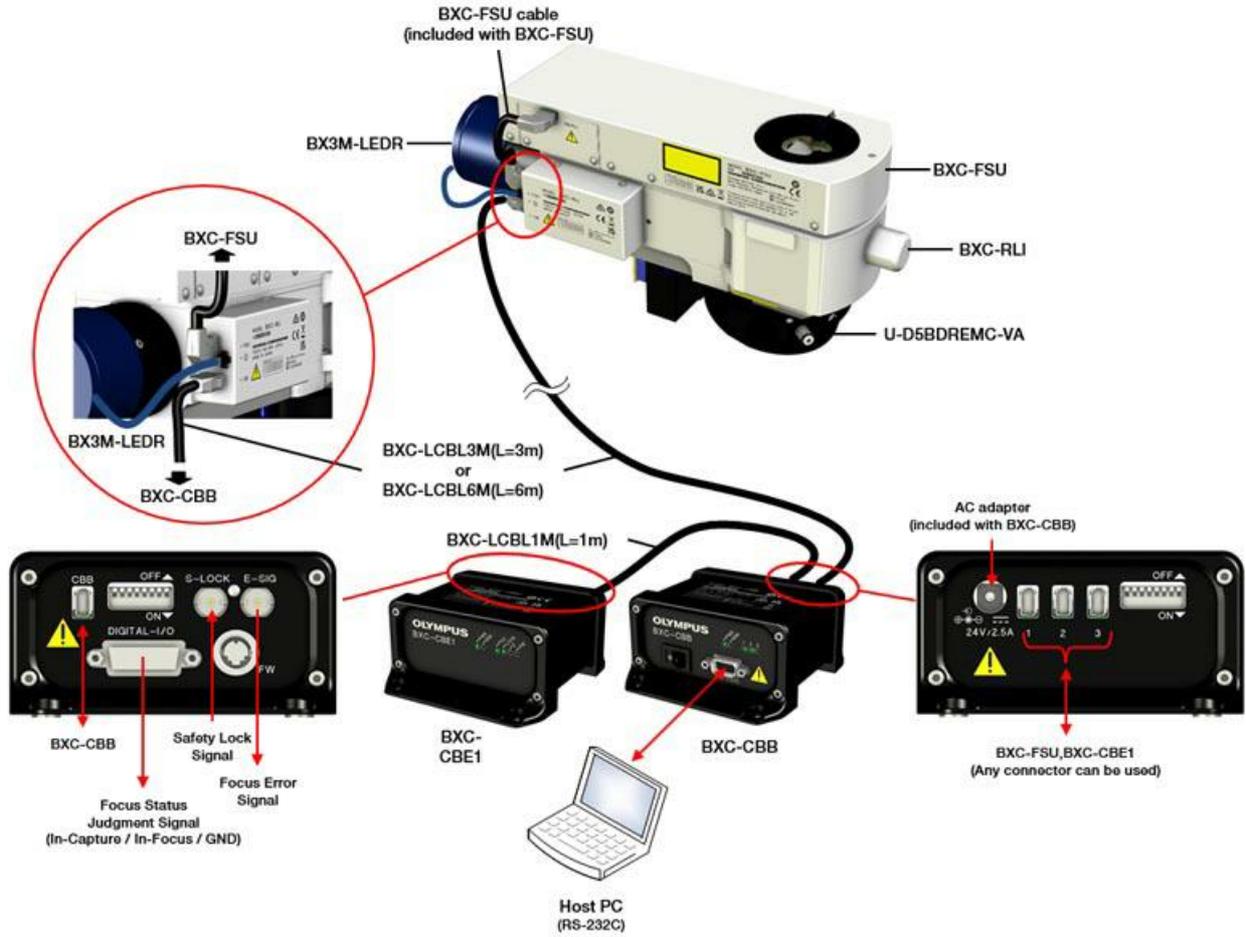


图4. BXC-CBB系统的配置。

对焦信息按以下方式在系统中传输：BXC-FSU→BXC-RLI→BXC-CBB→BXC-CBE1。BXC-CBE1控制器根据BXC-FSU最初提供的对焦信息，创建传输到客户设备的模拟信号。

BXC-CBE1产生三种对焦信号：

- 对焦误差信号
- 捕获阈值信号
- 对焦信号

上述(A-B)/(A+B)误差信号以-10 V至+10 V范围内的模拟信号形式输出，焦点位置的方向可通过电压的正负来确定。

误差信号与0 V交叉的位置就是对焦位置。如图5所示，当误差信号处于0 V左右的对焦阈值范围内时，对焦信号就会激活。激活对焦信号的范围是指样品在物镜焦深内（对焦）的范围。

然而，如图5中的红色框所示，当样品远离对焦位置时，误差信号也为0 V。出现这种情况的原因是，样品距离对焦位置越远，从样品反射并入射到两段式光电二极管上的激光强度就越低。在图5中，当对焦信号实际上为低电平时，表示该信号处于激活状态。

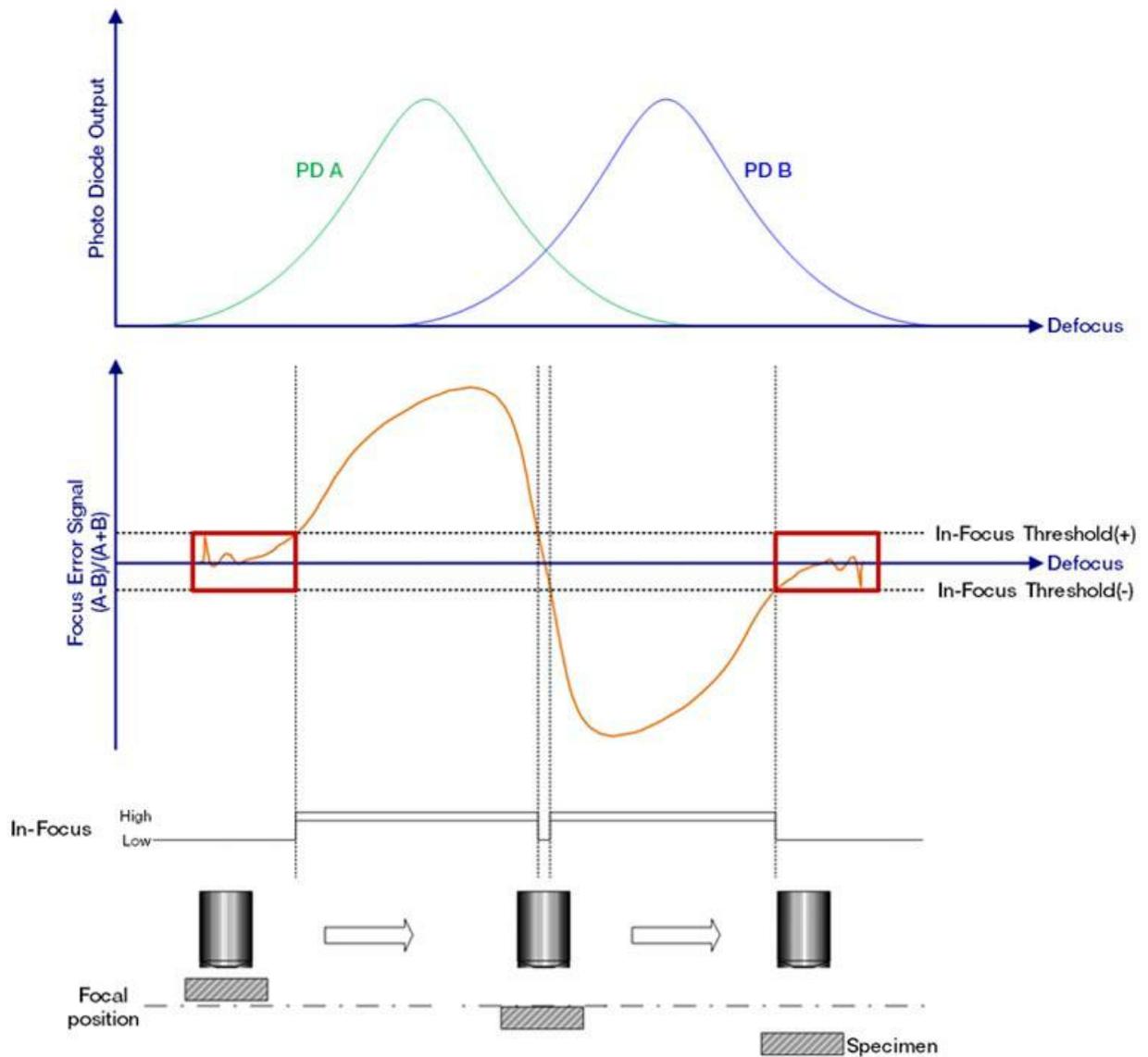


图5. 每个Z位置的误差信号(A-B)/(A+B)和对焦信号的变化。

捕获信号表示从自动对焦装置发射并从样品反射到光电二极管的激光强度。由于系统可以识别强度，因此可以判断零信号是否由低强度引起，而样品实际上并没有对焦。当样品位于焦点位置附近时，就会出现这种捕获信号，也被称为捕获范围。当样品处于捕获范围内时，就可以激活自动对焦功能，并实现实际对焦。当入射到两个分光光电二极管上的光总量 (A+B) 超过某个阈值时，就能确定样品是否在捕获范围内 (图6)。

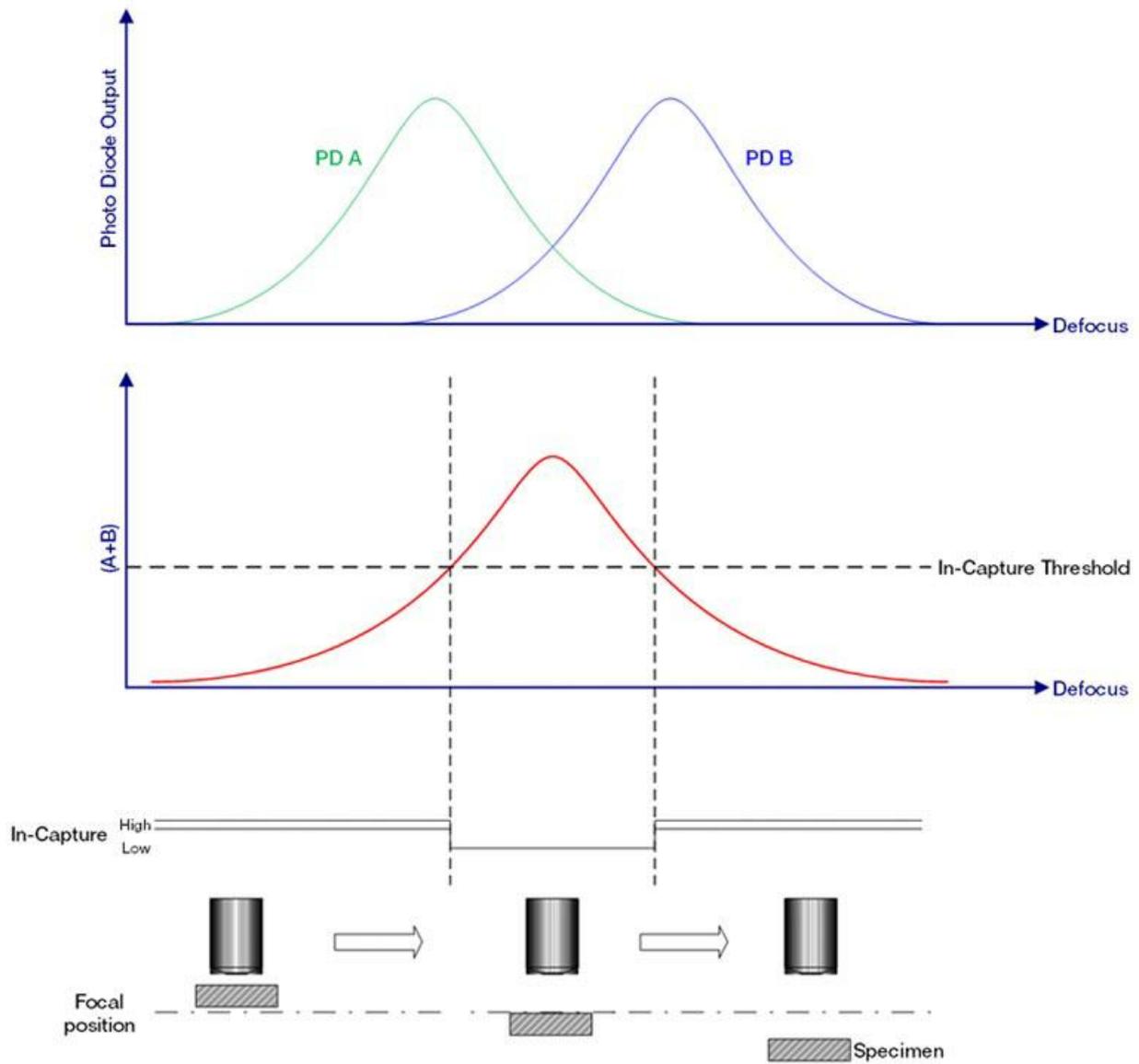


图6. 每个Z位置的光通量A+B和捕获信号的变化。当A+B超过某个阈值时，捕获信号就会被激活。在此图中，捕获信号在低电平时处于激活状态。

总而言之，对焦位置是指BXC-CBE1输出的捕获信号处于激活状态、误差信号接近0 V，且对焦信号也处于激活状态的范围。下面的图7显示了每个Z位置的捕获信号和对焦信号的状态。在这里，捕获信号和对焦信号在低电平时处于激活状态。

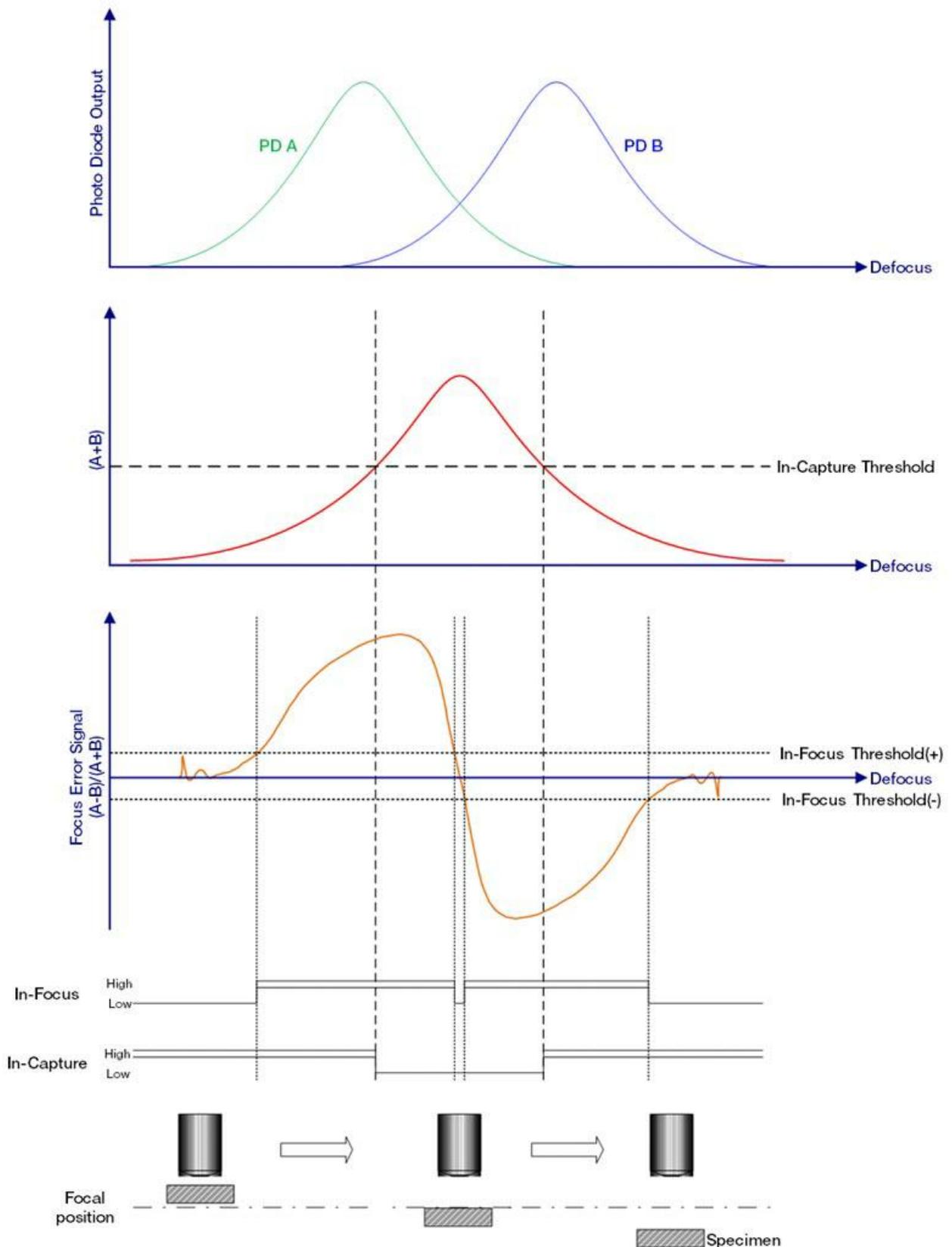


图7. 捕获信号和对焦信号的变化。

在此基础上，通过监控BXC-CBE1输出的三个信号（误差信号、捕获信号和对焦信号），可以找到焦点，并与客户选择的Z轴电机和Z轴驱动器进行通信。随着载物台移动到每个检测位置，这些设备都在积极协调工作（图8）。

Video: figure8-2_oscilloscope-measurement-waveform-and-live-image.mp4



Video: figure8-1_distance-between-specimen-and-objective-lens.mp4

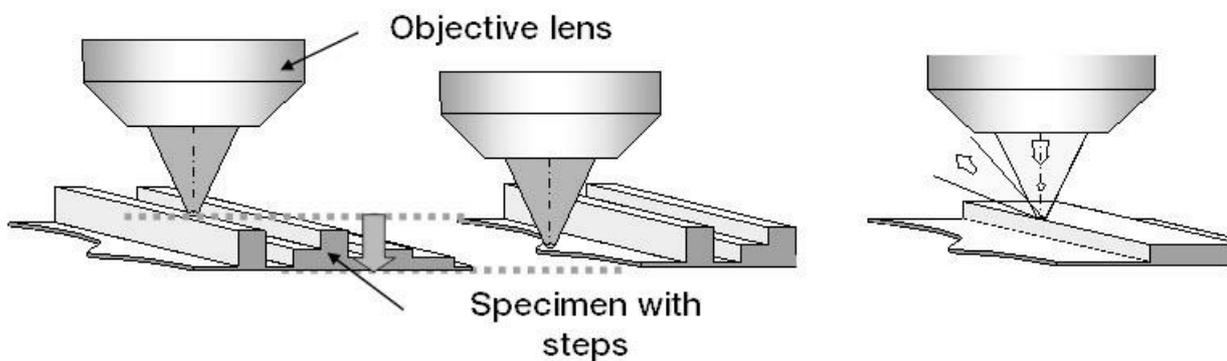
图8. 物镜、实时图像和波形之间的关系（示波器信号；误差信号：绿色；对焦信号：黄色；捕获信号：蓝色）。

示波器可以确认，当图像对焦时，所有信号均处于激活状态。这可用于仪器的设计和开发。

多点激光投射

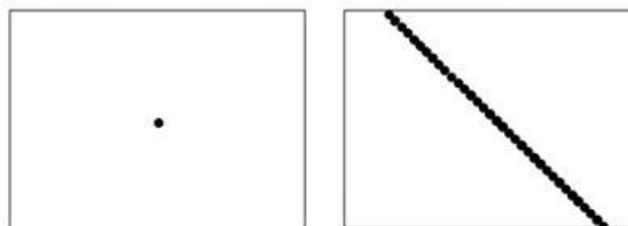
样品的形貌会影响对焦的成功率。当激光单点投射到样品上时，如果样品具有阶梯结构（如半导体基板上的细线图案），则对焦位置会随着对样品的扫描而频繁变化。这就是所谓的振纹。由于自动对焦光在阶梯边缘的散射，还可以看到对焦误差信号的信噪比（SNR）在变差（图9）。这两种情况都会导致在整个检测过程中很难保持对焦状态，从而使检测速度放慢。

为了减少振纹并提高对焦稳定性，BXC-FSU采用了多点主动式自动对焦系统（图10和图11）。这些光点以45度角排列在整个视场中，所有光点的平均信号会产生一个平均对焦位置。当样品在视场内具有不同的高度时，通过对整个视场进行平均对焦，可以实现可再现的自动对焦。



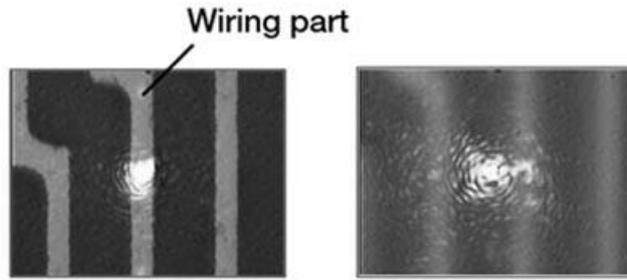
(a) 焦点位置的变化 (b) 边缘散射

图9. 对焦不稳定因素。

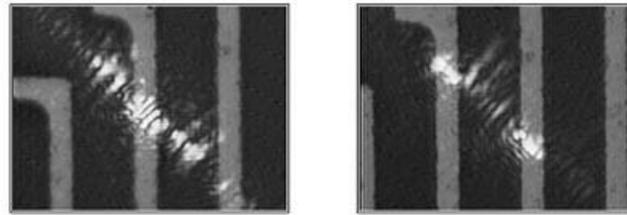


(a) 单点法 (b) 多点法

图10. 样品表面焦点的比较。



(a) 在单点法中，在移动到样品有阶梯高度的一侧时，Z位置会明显移动，导致图像失焦。



(b) 使用多点法时，即使样品上有阶梯高度，在横向平移时，焦点位置也不会改变。

图11. 在检测具有阶梯高度的样品时，单点和多点自动对焦法在对焦稳定性方面的比较。亮点表示对焦检测点。

色差校正

由于BXC-FSU自动对焦装置使用的是近红外激光光源，因此激光光源和白光源的载物台对焦位置会有所不同。这是由于色差造成的，即镜头中所用玻璃的折射率会根据光的波长而变化（图12）。因此，BXC-FSU配备了校正色差和匹配可见光和红外激光对焦位置的装置。根据软件中分配的预定量，每次物镜转盘切换物镜时，都会校正色差。

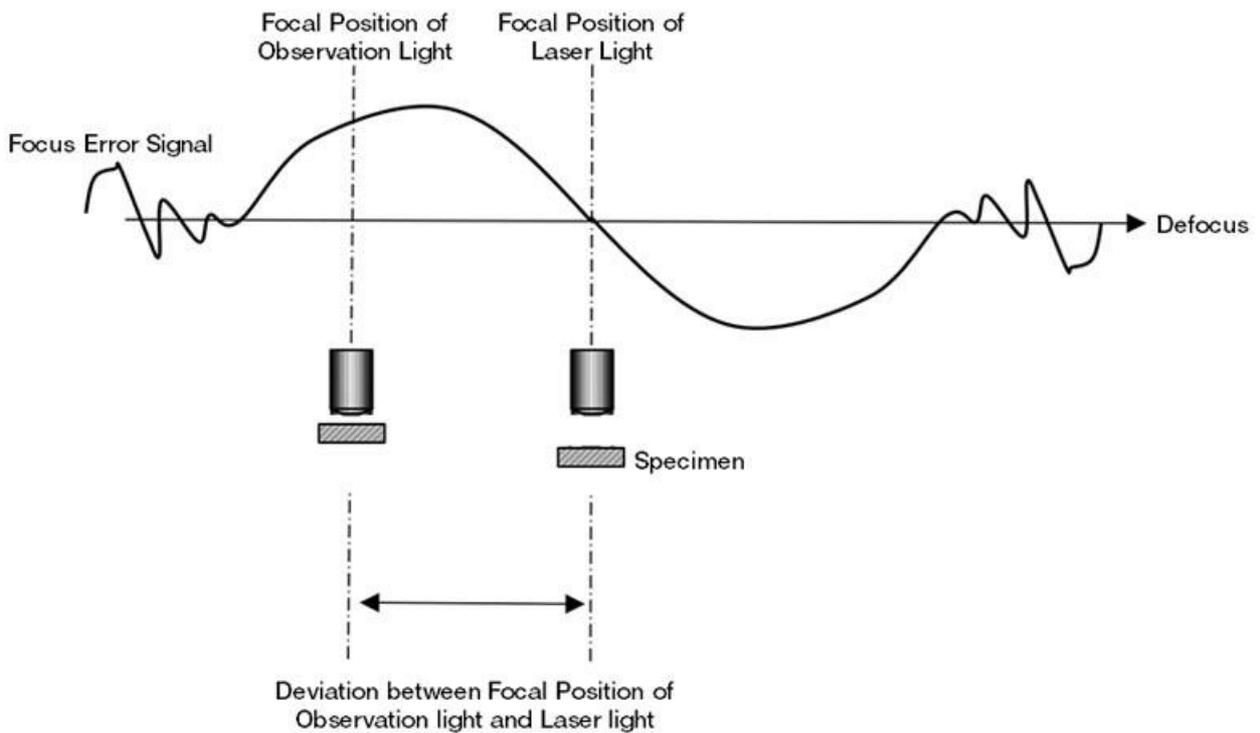


图12. 物镜的色差导致可见光和激光有两个对焦位置。

结语

自动对焦技术大幅缩短了扫描时间，提高了分辨率精度。了解对焦感应原理将有助于您充分利用BXC-FSU并将其集成到您的设备中。

要评估此设备是否适用于您的产品，请[访问资源库页面](#)，查找其他文件。

为了帮助您了解BXC-CBB和BXC-CBRLM系统的指令控制，我们提供了[下载示例软件](#)，供您下载并亲自试用。

此外，还提供了BXC-FSU应用手册，其中说明了如何使用FSU。

如需获取副本，请[填写咨询表](#)，并在备注栏中注明“Request for Application Manual”（申请应用手册）。

相关产品



用于集成的OEM显微镜组件

显微镜光学元件的性能直接影响产品的最终质量。Evident OEM组件可无缝集成到大型系统中，满足您对交付高质量产品所必备的卓越光学品质的要求。丰富的OEM组件让您可以灵活选择适合您应用的零部件，而严格的质量把控意味着您将获得高标准和性能的产品。

[学习更多内容 ▶ https://www.olympus-ims.com](https://www.olympus-ims.com)<https://www.olympus-lifescience.com/oem-components>



Tube Lens Units

Five tube lens units are available for a variety of applications. For detailed specifications, please visit our website to see the datasheets and mounting options for each unit.

[学习更多内容 ▶ https://www.olympus-ims.com](https://www.olympus-ims.com)<https://www.olympus-lifescience.com/oem-components/tube-lens-units/>



BXC系列

BXC系列提供了您所了解和信任的Evident公司的高质量显微镜部件，而且它们结构紧凑、可安装、可配置。这些现成的光学机械配件可以随时被设计到您的科学仪器和设备中。

[学习更多内容 ▶ https://www.olympus-ims.com/microscope/bxc-series/](https://www.olympus-ims.com/microscope/bxc-series/)